# 확장성을 고려한 네트워크형 가상현실 시스템

오 세 웅†


## 요 약

네트워크를 이용한 가상현실에 실시간 동영상이 도입되면서 가상공간은 더욱 현실감이 있게 되었다. 그러나 인터넷과 같이 자원을 예약할 수 없는 네트워크를 이용하여 가상현실을 제공하는 시스템에서 실시간 동영상을 처리하기 위해서 시스템의 확장성(scalability)을 고려하는 것은 중요하다. 본 논문에서는 실시간 동영상을 처리하는 가상현실 시스템을 위한 가상공간의 품질 조정 방법을 제안하여 확장성을 고려한 네트워크형 가상현실 시스템을 설계 및 구현을 한다. 제안한 방법은 가상공간의 각 객체들의 중요도를 나타내는 *IoP*(Importance of Presence)를 제안하고, 가상현실 시스템에 과부하가 발생하면 제안된 *IoP*를 토대로 객체들의 품질을 제어함으로써 시스템의 확장성을 제공한다.


# A Scalable Networked Virtual Reality System

OH Sei Woong†


## ABSTRACT

Introduction of motion video including live video into networked virtual reality systems makes virtual spaces more attractive. To handle live video in networked virtual reality systems based on VRML, the scalability of networked virtual reality systems becomes very important on the internet where the performance of the network and the end systems varies dynamically. In this paper, a new quality control algorithm suitable for scalable networked virtual reality systems with live video capability is proposed. Our approach is to introduce the notion of the importance of presence (*IoP*) which represents the importance of objects in virtual spaces. According to *IoP*s, the degree of the deterioration of each object presentation will be determined in case of the starvation of system resources.


## 1. 서 론

일가상현실에서 사람들은 컴퓨터가 만든 가상공간을 항해할 수 있게 되었으며 더구나 네트워크를 이용하여 Virtual Reality Modeling Language(VRML) [1,2]라고 하는 가상공간을 표현한 데이터를 서로 교환함으로써 가상공간을 공유할 수도 있게 되었다.

이러한 응용 프로그램을 제공하는 네트워크형 가상현실 시스템을 NVR(Networked Virtual Reality) 시스템이라고 한다. 이러한 시스템에서, 사용자가 컴퓨터 마우스를 클릭하면 다른 가상공간이 해당 서버로부터 전달되어 오며 사용자는 다른 가상공간을 이용할 수 있게 된다. VRML은 네트워크로 연결된 사용자들이 각각 가상공간을 공유하거나 교환하는 기본적인 메커니즘을 제공하고 있다.

그러나 VRML이 비록 사용자들 사이에서 가상공간을 공유하는 메커니즘을 제공하고 있지만 실시간 처리를 요구하는 정보를 공유하는 것은 어렵다. 본 논문에서의 실시간을 요구하는 정보란 두 가지의 상호작용을 하는 정보를 가정하고 있다. 하나는 가상공간에서의 avatar의 움직임 정보나 DIS(Distributed Interactive Simulation)에서의 전투기와 같은 3차원 그래픽 정보 등이 여기에 속한다[3]. 이러한 환경에서는 사용자들이 서로 정보를 교환함으로써 가상공간에서 다른 사람들 혹은 객체들을 인지하고 이를 공유할 수 있다. 또 다른 정보의 형태로 원격지에서

† 정회원, 동명정보대학교 정보공학부 전임강사

전달하는 실시간 동영상을 말할 수 있다. 가상회의 등에서 참가자의 얼굴이나 가상공간에서의 창문에 투영되는 실제의 풍경과 같은 실시간 동영상의 등장으로 가상현실은 보다 풍부한 상호작용이 가능하게 되었고 또한 현실감이 더 증가되었다[4].

현재 대부분의 NVR시스템에서는 네트워크면에서의 시스템 확장성을 고려하지 않았다. 그러한 시스템에서는 고속 네트워크를 가정하였거나 혹은 작은 수의 사용자를 고려하였다. 그러나 고성능의 워크스테이션과 퍼스널 컴퓨터가 대중화됨에 따라 많은 사용자가 가상현실을 이용하게 되었고 이러한 다수의 사용자를 지원하는 NVR시스템에서 네트워크면에서의 확장성은 중요한 관심사로 등장하게 되었다[5].

만약 NVR 시스템에서 확장성을 고려하지 않으면 해당 어플리케이션이 수행하는 도중에 시스템의 자원이 부족하여 랜더링(rendering) 속도 및 각종 상호작용에도 영향을 미치기도 하며 동적으로 변화하는 네트워크 트래픽으로 인해 서로의 데이터를 공유하기가 힘든 상황이 발생하기도 하여 가상현실의 목적인 현실감에 커다란 장애요인으로 등장하고 있다. 만약 네트워크와 엔드 시스템이 언제나 일정한 양의 자원을 확보하는 시스템일지라도 가상공간을 항해하는 동안 필요한 자원 양이 동적으로 변화할 수 있다.

또한 이러한 확장성뿐만 아니라 서버에서 클라이언트로 객체를 전송하는 면에서도 확장성 문제가 발생한다. VRML인 경우 새로운 공간에 대한 정보를 취득하기위해서는 하나의 파일이 전부 다운로드될 때까지 기다려야만 한다. 더욱이 가상공간이 매우 크거나 그 공간을 구성하는 객체에 대한 데이터가 많은 경우, 사용자는 해당 파일이 모두 전송될 때까지 기다려야 하며 또한 모두 전송된 파일의 그래픽 처리를 마칠 때까지 항해를 할 수 없는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 실시간 영상을 가상현실에 도입할 경우 시스템의 확장성을 고려하는 NVR시스템을 제안한다. 확장성을 고려하기 위해서 CPU와 같은 시스템 자원과 대역폭과 같은 네트워크 자원이 부족한 경우, 가상공간에 존재하는 객체의 품질을 의도적으로 조절함으로써 부족한 자원에 적응하는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템에는 사용자측에서 본 객체에 대한 *IoP*(Importance of Presence) 개념을 도입하여 품질을 조절할 경우 사용자에게 중요하지 않는 객체를 우선적으로 품질을 조절하여 어플리케이션에 크게 영향을 끼치지 않는 방법을 제안한다. 또한 가상공간에서 그래픽 객체뿐만 아니라 영상 객체의 품질도 제어함으로써 실시간 영상을 가상현실에 도입하는 어플리케이션도 지원한다. 제안된 *IoP* 개념은 기존의 3차원 그래픽 객체에 대한 *LoD*(Level of Detail) 개념을 확장한 것으로 기존의 *LoD*가 사용자와 객체간의 거리만을 고려한 반면 사용자의 시선 및 객체의 실제 화면 출력 크기 등을 고려하였다. 또한 객체 데이터 전송에 관한 확장성을 고려하기위해서 *IoP*를 기반으로 하여 파일단위가 아닌 객체 단위로 전송하는 메커니즘을 구현하였으며 이와 같은 시스템을 SGI indigo 2상에서 Performer[6]를 이용하여 구현하였다.

종래의 연구에서[1,4,7]는 사용자와 객체간의 거리만을 고려한 *LoD*기반의 객체 품질 제어를 제안하였으나 거대하고 복잡한 가상공간을 고려하지 않았다. 또한 DIS에서는 3차원 그래픽 객체만을 가정한 확장성을 고려하였으나 실시간 처리의 영상 등은 고려하지 않았다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 NVR 시스템의 개요에 대해서 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 *IoP*기반의 가상공간의 품질제어에 대해서 설명하고 4장에서는 객체 데이터 전송 메커니즘 그리고 5 장에서는 구현 및 실험에 대해 설명하고 마지막으로 6장에서 결론을 맺고, 앞으로의 과제를 제시한다.

## 2. NVR시스템의 개요

NVR시스템은 그림1과 같이 가상공간을 나타내는 데이터를 저장하고 있는 서버와 이 데이터를 서버로부터 전송 받아 그래픽 처리를 하는 클라이언트로 구성되어있다. 그러한 데이터는 가상공간에서 3차원 객체를 표현하는 데이터이며 이러한 데이터는 장면 그래프(scene graph)라는 형식으로 처리된다. 본 논문에서 제안하는 NVR 시스템은 컴퓨터가 생성하는 3차원 그래픽 뿐만 아니라 실시간 동영상의 처리도 포함함으로 동영상도 3차원 그래픽처럼 하나의 객체(object)로 처리되며 또한 장면 그래프로도 처리되는 시스템이다[8,9].
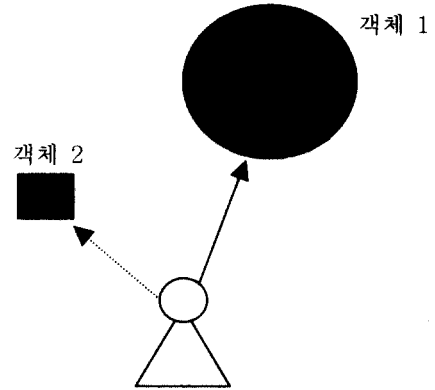
그림 1. NVR 시스템의 개관

## 3. 가상공간의 품질제어

본 논문에서 제안된 NVR 시스템은 가상공간에 존재하는 컴퓨터 그래픽 객체와 실시간 영상 객체가 네트워크와 시스템의 자원 부족에 따른 불규칙한 품질 저 하로 인해 시스템의 전체적인 품질 저하를 방지하여 시스템의 확장성을 높이는 것이 주된 목적이다. 종래의 시스템에서 단지 사용자와 객체간의 거리에 초점을 둔 것과는 달리 사용자의 인지도에 기인한 각 객체의 중요도를 계산하고 이를 기반으로 네트워크와 시스템의 자원이 부족한 경우 품질을 조절하게 함으로써 시스템의 확장성을 높인다.

### 3.1 *IoP* (Importance Of Presence)

*IoP*값이 작은 객체는 제안된 시스템에서는 사용자의 인지도가 높지않다는 의미이며 이는 시스템과 네트워크의 자원이 부족할 때 객체의 품질을 저하시켜서 자원에 대한 부담을 덜게 하는 반면, *IoP*값이 높은 객체는 보다 높은 수준의 품질을 유지하게 한다. 3차원 객체와 영상 객체에 대한 *IoP*의 개념 및 계산방법은 다음과 같다.

사용자의 위치에서 멀리 떨어진 객체와 사용자의 시선에서 많이 벗어난 객체에 대한 인지도는 그렇게 높지않다.

그림 2와 같이 객체 1이 비록 객체 2보다 사용자로부터 멀리 떨어진 공간에 위치하지만 면적이 크므로

그림 2. 객체의 크기에 대한 인지도

인지도는 높다고 할 수 있다. 제안된 시스템에서의 *IoP*는 사용자와 객체간의 거리 및 각도 그리고 객체의 자체 면적에 대한 함수로 정의한다. 그림 3에서 사용자와 객체간의 거리, 각도 및 객체의 면적을 각각 $l$, $\theta$, $S$라고 한다면 하나의 객체 *IoP*는

$$I = f(l,\ \theta,\ S)$$

로 정의한다. 가상공간의 객체가 N 개 있다고 가정하면 i번째 객체의 *IoP*값을 라고 한다면

$$I_i = f(l_i, S_i, \theta_i),$$

$$IoP_i = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^{N} I_i}$$

3차원객체

그림 3. 시선과 객체에 대한 인지도

$$(I = 1 \dots N)$$
$$0 \le IoP_i \le 1$$
$$\sum_{i=1}^{N} IoP_i = 1$$

라고 할 수 있다. 여기서 $l_i$, $S_i$, $\theta_i$은 i번째 객체의 $l$, $S$ 그리고 $\theta$를 의미한다. 앞에서 설명한 사용자의 인지도를 반영한다면

$$f(l_i,S_i,\theta_i)=\frac{S_i}{l_i}(\cos\theta_i+1)$$

이라고 할 수 있다.

위의 식에서의 가정은 다음과 같다.

- 사용자의 뒤에 있는 객체는 품질면에서 무시할 수 있다..
- 사용자로부터 먼 곳에 위치한 객체의 품질일수록 무시할 수 있다.
- 사용자로부터 먼 곳에 위치한 매우 큰 객체는 사용자로부터 가까운 곳에 위치한 매우 작은 객체보다 우선 순위가 높다.

### 3.2 동적인 객체 스케일링

사용 가능한 자원에 따라 객체의 품질을 조절하는 것을 객체 스케일링(object scaling)이라고 한다. VRML에서는 Level of Detail(*LoD*)라고 하는 3차원 그래픽 객체 스케일링 개념을 제공하고 있다. 실시간 처리를 해야 하는 동영상이 가상공간에 등장하면서 영상 객체 또한 스케일링을 해야 한다. 이러한 영상 객체의 스케일링은 시간적, 공간적인 해상도의 조절을 해야 한다. 가상공간에 존재하는 3차원 컴퓨터 그래픽 객체 뿐만 아니라 영상 객체에 대한 스케일링을 함으로써 사용 가능한 자원의 고갈에 의한 문제점을 동적으로 해결할 필요성이 있다. 이러한 문제의 해결은 시스템이 거대하고 복잡한 가상공간 뿐만 아니라 사용자가 많아짐으로써 발생하는 자원 고갈에 따른 문제점을 해소할 수 있으므로 시스템의 확장성을 고려하는 하나의 방법이 된다.

### 3.3 객체 스케일링 알고리즘

사용 가능한 자원의 부족으로 객체 스케일링을 하려면 어떤 객체를 어느 정도의 품질로 스케일링을 할 것인가가 중요하다. 어떤 객체의 품질을 스케일링 할 것인가는 본 논문에서는 앞에서 설명한 *IoP*값을 기반으로 한다. 따라서 하나의 가상공간에 사용자가 볼 수 있는 객체 중 *IoP*값이 가장 작은 것을 먼저 스케일링하고 그래도 필요한 자원이 부족할 경우 그 다음으로 가장 작은 *IoP*값을 갖는 객체의 품질을 조절하는 방법을 사용한다. 이렇게 함으로써 필요한 자원이 부족할 때, 사용자의 현재 위치 및 시선에 기인하여 인지도가 높지않는 객체의 품질을 의도적으로 저하시켜서 부족한 자원에 적응할 수 있게 된다.

스케일링할 객체가 결정되면 어느 정도의 품질로 조절할 것인가에 대해 설명한다. 사용자가 가상공간을 나타내는 하나의 VRML 파일에서 i번째 객체의 *LoD*가 $M_i$개 있다고 가정한다. 여기서 이 객체의 *LoD*가 1이라는 의미는 가장 품질이 낮은 *LoD*를 갖는 의미이며 $M_i$는 가장 높은 품질의 *LoD*를 의미한다. 만약 i번째의 객체의 *LoD*의 수준인 j가 아래와 같은 식을 만족한다면 j를 한계 *LoD*로 사용할 수 있다.

$$\frac{j-1}{M_i} \le IoP_i < \frac{j}{M_i}$$

이와 같은 방법으로 객체의 품질을 의도적으로 저하시켜서 자원 부족 문제가 해결되면 객체 스케일링은 중단되지만 그렇지 않을 경우에는 한계 *LoD*까지 계속해서 품질을 저하시킨다.

### 3.4 자원 부족 감시

필요한 자원의 부족 현상을 감시하기 위해서 제안된 시스템의 클라이언트는 서버로부터 전송되어 오는 객체 데이터를 수신하는 수신 버퍼와 렌더링 속도를 주기적으로 감시한다. 만약 렌더링 속도가 저하되면 클라이언트의 CPU와 같은 자원이 부족하다고 생각할 수 있으며 수신 버퍼의 underflow는 서버 혹은 네트워크의 자원 부족이 발생했다고 생각할 수 있다. 이러한 경우 앞 절에서 설명한 객체 스케일링으로 품질을 의도적으로 저하시키며 일정기간 동안 자원 부족현상이 나타나지 않으면 저하된 품질을 향상시킨다.

## 4. 데이터 전송 메커니즘

사용자가 거대하고 복잡한 가상공간을 항해한다

면 가상공간의 모든 객체를 볼 수 없다. 또한 사용자는 가상공간에 존재하는 모든 객체를 볼 필요도 없다. 이와 같은 이유로 사용자의 움직임에 따라 객체 데이터를 전달하는 객체 스트리밍(object streaming)이라고 하는 데이터 전송 메커니즘을 소개한다.

데이터 전송 메커니즘은 기본적으로 객체가 사용자에게 보이게 되면 그 객체의 데이터를 전송한다. 본 논문에서는 객체가 사용자의 눈에 들어오게 되면 *IoP*값이 0 보다 큰 값을 갖게 된다. 따라서 높은 *IoP* 값을 갖는 객체일수록 먼저 전송한다.

그러나 각각의 객체에 대한 *IoP*값의 계산 및 먼저 전송해야 할 객체 선정 등은 delay를 유발시키므로 클라이언트에서 자연스럽게 가상공간을 항해할 수 없게 될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 RING system[10]에서는 이러한 delay를 줄이기 위해 예측 메커니즘을 사용하였다. 본 논문에서는 이러한 예측 메커니즘을 클라이언트 서버 환경에 적용하여 이러한 문제를 해결하였다[8][9].

## 5. 구현 및 실험 결과

### 5.1 구현

그림 4. 제안된 NVR 시스템의 구조

제안된 시스템은 SGI indigo-2상에서 구현되었으며 그 구조는 그림4와 같다.

그림4와 같이 제안된 시스템에서는 본 논문에서 제안하는 객체 스케일링을 위해서 QoS 제어기가 서버 및 클라이언트에 각각 있다. 또한 서버는 *IoP*를 계산하기 위해서 *IoP* 계산기를 갖고 있으며 이 계산기는 클라이언트로부터 전달되어 오는 사용자의 위치 및 속도 등과 같은 정보를 토대로 예측 메커니즘을 갖고 있다. 가상공간에 실시간 영상데이터를 처리하기 위해서 클라이언트는 scene graph를 이용하며 또한 사용자의 위치, 항해 속도, 회전과 같은 동작 등을 계산하여 서버에게 전달하는 사용자 정보 전달자를 갖고있다. 구현된 시스템은 motion-JPEG, intra-H.261과 같은 동영상을 처리할 수 있다.

### 5.2 실험

제안된 시스템의 효율성을 입증하기 위해서 그림5와 같은 가상 미술관을 제작하였다. 미술관의 각 벽면은 JPEG으로 되어있으며 이 미술관을 나타내는 VRML 파일의 크기는 550,432 byte이다. 또한 이 미술관에 하나의 motion-JPEG 포맷의 객체와 intra-H.261 포맷의 영상 객체를 두어 실험을 하였다.

제안된 시스템은 영상의 품질 조절(객체 스케일

그림 5. 가상미술관

링)을 공간적 및 시간적인 해상도를 조절할 수 있으나 LAN환경상에서 약 5frame/sec.정도의 렌더링 속도를 기록하여서 각각의 영상 객체에 공간적 해상도만 고려한 3가지의 품질을 준비하였다. 그림 5에서 사람의 얼굴이 나오는 영상 객체를 video 1, 모자를 가지고 춤을 추는 객체를 video 2라고 하고 항해를 video 2를 지나서 video 1으로 가는 것으로 하였다.

그림 6은 두 영상객체의 *IoP*값을 나타낸 것이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 약 75초를 지날 때, 사용자가 video 2를 지나치므로 그 객체가 시야에서 없어지게 되므로 video 2의 *IoP*값이 급격히 0로 되었다. 반대로 video 1은 *IoP*값이 사용자가 다가갈수록 커지는 것을 알 수 있다.

그림 7은 두 영상 객체의 네트워크 트래픽을 측정한 것이다. 75초 경과 후 video 2의 전송이 중단되고 *IoP*값에 따라 video 1의 품질이 좋아짐을 알 수 있다.

또 다른 실험으로 *IoP* 기반의 객체 데이터 전송 메커니즘을 실험하였다.

이를 위해 두개의 시스템을 구축하였으며 하나는 제안한 객체 데이터 전송 메커니즘을 갖는 시스템이고 다른 하나는 그러한 메커니즘을 갖지 않은 시스템이다. 실험을 위해 제작한 가상 미술관인 경우, 제안한 메커니즘이 구현된 시스템은 사용자가 항해를 하기위해서 기다려야 하는 시간이 평균 5.32 초이었고 그렇지 않은 경우는 평균 8.47초이었다. 보다 대규모적이고 복잡한 가상공간 일수록 그 차가 더 심할 것으로 예상된다.
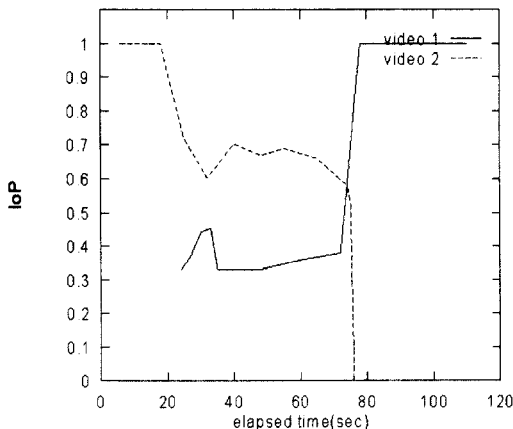
그림 6. 객체에 대한 IoP값 측정 결과
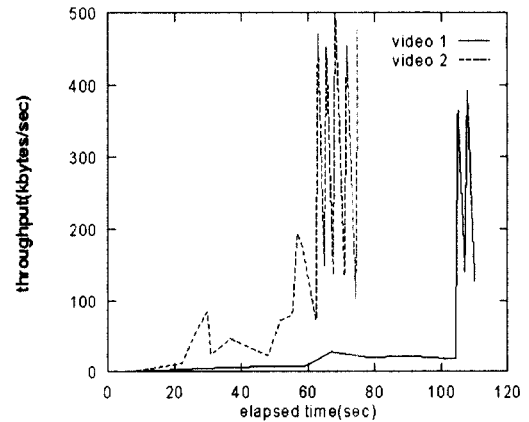
그림 7. 객체에 대한 트래픽 측정 결과

## 6. 결론 및 향후 연구

확장성을 고려하기 위해서 객체 스케일링을 하는 네트워크형 가상현실 시스템을 제안하였고 구현하였다. 제안된 시스템은 실시간 영상처리를 가상공간에서 하며 시스템 및 네트워크의 자원이 부족하여도 객체의 품질을 저하시킴으로써 자원 부족 문제를 해결하였으며 또한 이러한 품질 저하의 영향을 최소한 방지하기 위해 사용자의 인지도가 낮은 객체를 *IoP* 기반으로 검출하여 저하시켰다. 실험 결과 video1 및 video 2 객체의 총 트래픽이 500 Kbyte per second를 넘기지 않았고 또한 과중한 트래픽이 두 영상 객체사이에 겹치지 않아 보다 많은 클라이언트를 지원할 수 있는 효율적인 시스템이라는 것을 알 수 있었다. 또한 제안한 객체 전송 메커니즘으로 사용자가 가상공간 데이터를 수신하여 항해하는 데 필요한 시간을 줄여서 대규모적이고 복잡한 가상공간에 적합한 것으로 나타났다.

본 논문에서 제안한 시스템을 멀티 사용자 환경으로의 확장 및 QoS가 가능한 네트워크상에서의 확장성 고려 등을 향후 과제로 남기고 있다..

## 참 고 문 헌

[1] VRML97,*http://www.vrml.org/technicalinfo/specifications/**vrml97***.

[2] O. Hagsand, Interactive Multi-user VEs in the DIVE system, IEEE MultiMedia, Vol.3, No.1,

pp.30-39, Spring 1996.

[3] M.R. Macedonia and M.J. Zyda, A Taxonomy for Networked Virtual Environment, IEEE MultiMedia, Vol.4, No.1, pp.48-56, January-March 1997.

[4] M. Arikawa, A. Amano, K. Maeda, R. Aibara, S. Shimojo, Y. Nakayama, k. Hiraki, H. Nishimura, and M. Terauchi, Dynamic LoD for QoS Management in the Next Generation VRML, Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Multimedia Computing and System pp.24-27, June 1996.

[5] Seiwoong Oh, Hiroyoki Sugano, Kazutoshi Fujikawa, Toshio Matsuura, Shinji Shimojo, Masatoshi Arikawa, Hideo Miyahara, A Dynamic QoS Adaptation Mechanism for Networked Virtual Reality,, Proceedings of Fifth IFIP International Workshop on Quality of Service, pp.397-400, New York, USA, May 1997.

[6] J.Rohlf and J. Helman, Iris Performer: A High Performance Multiprocessing Toolkit for Real-time 3D Graphics, Proceedings of ACM SIGGRAPH'94, pp.381-394, July 1994.

[7] H. Nakanishi, C. Yoshida, T. Nishimura, and T. Ishida, Freewalk: Supporting Casual Meeting in a Network, Proceedings of International Conference on Computer Supported Cooperative Work, pp.308-314, 1996.

[8] Seiwoong Oh, Hiroyuki Sugano, Kazutoshi Fujikawa, Toshio Matsuura, Shinji Shimojo, Masatoshi Arikawa, Hideo Miyahara, QoS mapping mechanism for Networked Virtual Reality, Proceedings of SPIE conference on Performance and Control of Network Systems, pp.18-26, Dallas, USA, November 1997.

[9] Kazutoshi Fujikawa, Tomohiro Taira, Seiwoong Oh, Daisuke Kado, Shinji Shimojo, and Hideo Miyahara, "A Quality Control Mechanism for Networked Virtual Reality System with Video Capability", Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, pp.214-217, Austin, TX. USA, June-July, 1998.

[10] T.A. Funkhouser, Database Management for Interactive Display of Large Architectural Models, Proceedings of Graphics Interface'96 pp.1-8, May 1996.

오 세 웅

1985년 한양대학교 공과대학 전자공학과 졸
1987년 한양대학교 대학원 전자공학과 졸
1998년 오사카대학교 기초공학부 정보공학과 졸
1987년~1994년 한국전자통신연구원 선임연구원
1998년~현재 동명정보대학교 정보공학부 전임강사
관심분야 : 가상현실, 멀티미디어통신